

Un modèle de décroissance optimale

M. Germain

Discussion Paper 2016-8

Institut de Recherches Économiques et Sociales
de l'Université catholique de Louvain



UCL

Un modèle de décroissance optimale

Marc Germain*

Mars 2016

Résumé

Dans le cadre d'un modèle de croissance à la Ramsey avec ressource naturelle et pollution et reposant sur certains postulats de l'économie écologique, ce papier étudie les effets de politiques de décroissance volontaire sur la production et le bien-être. L'instrument de ces politiques est une taxe prélevée sur la ressource naturelle. Ces politiques sont appliquées par les pouvoirs publics suite au retournement de la fonction d'utilité des ménages induit par l'augmentation de la pollution. Par rapport à la situation de laisser-faire, leur résultat est à la fois de réduire la production et la pollution d'une part, et d'accroître le bien-être d'autre part.

Une réaction plus tardive des autorités publiques suite au retournement de la fonction d'utilité des ménages implique que la taxation de la ressource naturelle doit être plus élevée pendant les premières périodes. Si la préférence pour le futur des autorités est plus grande, alors les gains d'utilité dus à la politique de décroissance sont moindres pour les premières générations de la dynastie et supérieurs pour les suivantes. L'impact du progrès technique économisant la ressource ou améliorant le traitement de la pollution est également analysé.

Abstract

With the help of a growth model à la Ramsey with a natural resource and pollution and relying on postulates of ecological economics, this paper studies the impact of voluntary degrowth policies on production and welfare. The instrument of these policies is a tax levied on the natural resource. These policies are assumed to be applied by the public authorities after the downturn of the households' utility function due to the increase of pollution. With respect to the laisser-faire situation, their impact is to simultaneously decrease production and pollution on the one hand and increase welfare on the other.

A delayed reaction of the public authorities after the turnover of the households' utility function implies a higher tax rate on the resource during the first periods. If the authorities' preference for the future is higher, then welfare gains from the degrowth policy are lower for the first generations of the dynasty and higher for the later. The impact of technical progress saving the resource or improving the pollution treatment is also analysed.

Key words: degrowth, steady state economics, pollution tax

JEL: O44, O49, Q57

*LEM-CNRS (UMR 9221), Université de Lille 3 et IRES, Université de Louvain. Je remercie Géraldine Thiry pour son aide et ses commentaires.

Introduction

Depuis quelques années, un nouveau thème de recherche en science économique se développe, désigné sous les termes "Economie de la décroissance" (Economics of degrowth). Assez logiquement, ce sont des économistes écologiques qui en sont les principaux contributeurs, car l'économie écologique s'intéresse depuis longtemps aux limites à la croissance et dans la foulée à des trajectoires alternatives à une croissance non durable.

Bien que relativement récente, l'Economie de la décroissance a été le sujet de nombreuses contributions et Kallis et al. (2012) en ont fait une revue de la littérature. Ces auteurs classent les contributions en trois courants : (i) l'Economie stationnaire (Steady-State Economics) dont Herman Daly est la figure de proue, (ii) la Nouvelle Economie de la Prospérité (New Economics of Prosperity) autour de Tim Jackson et (iii) la Décroissance (Degrowth) dans la foulée des travaux de Serge Latouche et de Joan Martinez-Alier¹.

S'il peut exister des différences, voire des désaccords, entre ces trois courants, ils ont en commun de considérer que la croissance économique actuelle n'est pas durable et qu'une autre trajectoire est souhaitable. La décroissance est alors définie comme la transition *volontaire et équitable* d'une croissance non durable vers une économie en état stationnaire et durable (O'Neill, 2012). En outre, si elle implique une réduction de la production et de la consommation, la transition vise en même temps à une amélioration du bien-être tout en respectant les contraintes environnementales tant à court qu'à long terme (Schneider et al., 2010). Il s'agit donc d'un processus choisi et il va sans dire qu'aucun auteur ne se fait l'avocat d'un déclin perpétuel conduisant à une misère généralisée.

Si les contributions en Economie de la décroissance sont nombreuses, les articles qui appréhendent la question d'une telle transition sous un angle quantitatif sont rares. Bilancini et D'Alessandro (2012) opposent "croissance malheureuse" et "décroissance heureuse" dans le cadre d'un modèle avec externalités de consommation, de loisir et de production. Les premières s'exercent à travers une compétition entre consommateurs en termes de statut social. Les deuxièmes sont dues au fait que le loisir des individus contribue à des activités relationnelles qui agissent à la manière d'un bien public. Les troisièmes sont liées au fait que l'accumulation du capital stimule les connaissances et le progrès technique au sein de l'économie. Les auteurs montrent qu'une économie décentralisée est sous-optimale du point de vue du bien-être. Ils élaborent également une transition "heureuse" vers une trajectoire optimale au sens où les externalités sont prises en compte. Cette transition est caractérisée par (i) la réduction passagère de la production et de la consommation et (ii) l'augmentation du bien-être, la baisse de la consommation étant plus que compensée par la hausse des activités relationnelles permise par celle du loisir.

Heikkinen (2015) enrichit le modèle précédent en introduisant des consommateurs ayant des préférences hétérogènes et variables dans le temps. L'hétérogénéité des consommateurs s'exprime au niveau de (i) leur compétition en termes de statut social et (ii) leur prédisposition à la "sobriété volontaire" (voluntary simplicity). Celle-ci est définie comme le choix délibéré d'un agent de limiter ses dépenses de consommation. L'auteur établit que l'affaiblissement de la compétition en termes de statut social augmente le bien-être global bien que le taux de croissance de l'économie décline. De même, l'adoption de la simplicité volontaire par un sous-ensemble d'agents peu ou pas influencés par la compétition en termes de statut social a un impact positif sur le bien-être global.

Au moyen d'un modèle macroéconomique appliqué, Victor (2012) évalue les conséquences pour l'économie canadienne de politiques de réduction des émissions de GES, notamment en termes de croissance, de dépenses publiques et d'emploi. Parmi les scénarios envisagés, l'auteur étudie un scénario de décroissance où le niveau de vie des canadiens (mesuré par le PIB/tête) serait plus en phase avec le respect des limites de la planète. Les chiffres montrent un impact considérable à la baisse, tant au niveau des dépenses publiques ou de la durée du temps de travail.

Les contributions de Bilancini et D'Alessandro (2012) et de Heikkinen (2015) développent des modèles stylisés qui ignorent les externalités environnementales. L'analyse se fait en termes de sentiers de croissance équilibrée, et la phase de décroissance signifie en fait la transition progressive d'un sentier sous-optimal vers un sentier optimal. Si la transition s'accompagne d'une baisse de la production et/ou du stock de capital, ces variables recommencent à croître dès lors que

¹Le lecteur intéressé trouvera chez Kallis et al. (2012) les références à différentes contributions de ces auteurs.

la transition est achevée. Ces deux contributions ignorent également le rôle que les politiques publiques pourraient avoir dans la transition. De son côté, le modèle appliqué de Victor (2012) ne permet pas une approche en termes de bien-être, et le rôle de l’environnement est limité à celui de l’impact du contrôle des émissions de GES sur l’économie.

Le but de ce papier est précisément de répondre aux limites de ces articles, en étudiant l’impact de politiques de décroissance volontaire au moyen d’un modèle stylisé intégrant explicitement l’environnement tant en termes de ressource naturelle que de pollution. Le modèle distingue trois formes d’externalité : la première est liée à l’exploitation de la ressource naturelle, la seconde à la pollution et la troisième à la production. Il respecte un des postulats habituels de l’économie écologique au sens où la substitution entre facteurs naturels et humains est limitée et où le progrès technique est borné, tant au niveau de l’usage de la ressource naturelle que du traitement de la pollution. Comme la disponibilité en ressource naturelle est elle-même limitée, il ne peut y avoir de croissance indéfinie et l’économie ne peut tendre (au mieux) que vers un état stationnaire. En situation de laisser-faire, le modèle engendre un retournement de la courbe d’utilité des ménages qui renvoie à l’*hypothèse de seuil* énoncée par Max-Neef (1995), selon laquelle au-delà d’un certain niveau de PIB par tête (le seuil), le bien-être (ou la qualité de la vie) est susceptible de décroître avec la croissance économique. C’est ce retournement qui justifie l’intervention des pouvoirs publics à travers une politique de décroissance.

La structure du papier est la suivante. La section 1 présente les équations du modèle. Deux organisations institutionnelles sont envisagées selon que l’économie est gérée de façon décentralisée (économie de laisser-faire) ou centralisée (économie planifiée). Le modèle est résolu dans la section 2 pour les deux formes d’organisation, en caractérisant d’abord l’équilibre stationnaire puis la dynamique en ce et y compris la phase transitoire. La section 3 étudie les effets d’une politique volontaire de décroissance sur l’économie, en mettant notamment en évidence le rôle du temps de réaction des autorités publiques. Toujours dans un contexte de décroissance, la section 4 étudie le rôle de la préférence pour le futur des autorités ainsi que celui du progrès technique tant au niveau de l’usage de la ressource naturelle que du traitement de la pollution. La conclusion résume les principaux résultats et propose différents développements possibles.

1 Le modèle

1.1 L’économie et la ressource naturelle

Les firmes fabriquent un bien à usage final destiné soit à la consommation des ménages, soit à l’investissement. Pour produire la quantité Y_t du bien à la période t , les firmes ont besoin de la quantité X_t de la ressource naturelle (RN) :

$$X_t = \mu_t Y_t \tag{1}$$

La variable μ_t mesure le contenu en RN par unité de bien. Elle décroît en fonction du progrès technique (exogène) qui rend le processus de production moins consommateur de ressource. On suppose que ce progrès technique est borné, au sens où produire une unité du bien avec une quantité infinitésimale de ressource est physiquement impossible. μ_t est donc borné inférieurement par une quantité strictement positive μ :

$$\mu_t \geq \mu > 0 \tag{2}$$

Pour simplifier l’analyse, on suppose que la RN est constituée d’un *flux renouvelable et constant* R (à l’image par exemple du rayonnement solaire). La ressource est en accès libre. Son exploitation et son usage pour la fabrication de biens exigent cependant du capital physique. Elle peut aussi être l’objet d’une taxation (cfr. infra). Pour extraire et transformer la quantité X_t , les firmes doivent disposer de la quantité de capital K_t donnée par

$$K_t = a \frac{X_t}{1 - \frac{X_t}{R}} \tag{3}$$

R et a sont deux paramètres strictement positifs, constants et bornés. Comme le montre le dénominateur, la quantité de capital nécessaire pour exploiter une unité de ressource augmente avec son taux d'exploitation (mesuré par le rapport $E_t = X_t/R$).

Il importe de souligner que l'équation précédente revient à admettre que capital et RN sont des facteurs complémentaires². En ce sens, elle repose sur l'hypothèse de *soutenabilité forte* qui postule une substituabilité limitée entre facteurs naturels et facteurs créés par l'homme. Cette hypothèse de soutenabilité forte, combinée avec le fait que (i) le progrès technique est borné (cfr. (2)) et (ii) la RN n'est disponible qu'en quantité limitée, implique qu'une trajectoire caractérisée par une croissance indéfinie de Y_t est impossible.

On suppose que l'installation du capital prend une période. Par souci de simplicité, on suppose par ailleurs que le taux de dépréciation est unitaire, c-à-d qu'une fois installé, le capital d'une firme ne dure qu'une période. L'investissement décidé en $t - 1$ est donc productif en t et déclassé en début de $t + 1$. Cette dernière hypothèse suppose implicitement que chaque période de temps dure plusieurs années.

Vu les hypothèses du paragraphe précédent, vu le fait que la production est destinée soit à la consommation des ménages soit à l'investissement, la condition d'équilibre sur le marché des biens conduit à :

$$Y_t = C_t + K_{t+1} \quad (4)$$

Soit s_t le taux d'épargne de la période t . Alors la condition précédente peut se réécrire :

$$K_{t+1} = s_t Y_t \quad (5)$$

Si la production des entreprises à la date t exige une certaine quantité de RN, elle se traduit aussi par une pollution globale P_t , qui affecte négativement l'utilité des ménages. Par souci de simplicité, on suppose que la pollution est linéairement proportionnelle à la production et ne s'accumule pas (il s'agit donc d'une pollution-flux). Formellement :

$$P_t = \eta_t Y_t \quad (6)$$

où η_t est un paramètre exogène mesurant la quantité de polluant par unité de production. Ce paramètre est susceptible de décroître au cours du temps en fonction des progrès dans le traitement de la pollution. En raison de contraintes technologiques, on exclura cependant qu'il soit possible de la réduire à zéro. η_t est donc borné inférieurement par une quantité strictement positive :

$$\eta_t \geq \eta > 0 \quad (7)$$

L'utilité instantanée du ménage représentatif dépend positivement de la consommation C_t et négativement du niveau de la pollution P_t , selon la fonction

$$u_t = u(C_t, P_t) = \ln(C_t) - \sigma P_t \quad (8)$$

où $\sigma > 0$ est un paramètre qui mesure la désutilité marginale de la pollution.

Pour compléter le modèle, il faut préciser comment la production se répartit entre consommation et investissement. Par la suite, on considèrera deux cas selon que l'économie est gérée de façon décentralisée (économie de laissez-faire) ou centralisée (économie planifiée). Dans le cas d'une économie *décentralisée*, les agents (ménages et entreprises) maximisent leurs objectifs respectifs sans se soucier des diverses externalités présentes dans l'économie. Si elles interviennent dans l'économie, les autorités publiques ont pour seule fonction de prélever une taxe sur la RN afin d'en réduire l'usage³. Dans le cas d'une économie *centralisée*, un planificateur gère l'ensemble de l'économie en maximisant l'utilité du ménage représentatif et en prenant en compte toutes les externalités.

²Ainsi, l'équation (3) suppose implicitement que K_t et R sont liés par une fonction de production CES avec une élasticité de substitution égale à 1/2.

³Les recettes de la taxe sont versées aux ménages sous une forme forfaitaire. Il n'y a pas de consommation publique et (4) est bien d'application.

1.2 L'économie décentralisée

1.2.1 Le comportement des ménages

On considère un ménage représentatif à longue durée de vie qui consomme une partie de ses revenus et investit le reste dans du capital physique, qu'il loue ensuite aux entreprises. A la manière de Ramsey, le ménage affecte ses revenus de façon à maximiser la fonction d'utilité intertemporelle $\sum_{t=1}^T \beta_m^t u_t$ sous la contrainte de budget $C_t + K_{t+1} = \Omega_t + v_t K_t$. β_m est le facteur d'escompte du ménage ($0 < \beta_m \leq 1$), v_t est le loyer du capital, Ω_t est l'ensemble de ses autres revenus⁴ et u_t est défini par (8). L'horizon du ménage T est supposé très grand, voire infini. Le prix des biens finaux servant à la consommation et l'investissement est choisi comme numéraire.

Le ménage n'ayant pas d'influence directe sur la pollution globale (celle-ci étant le fait des entreprises), il n'en tient pas compte dans son calcul d'optimisation intertemporel. En conséquence, la condition d'optimalité du premier ordre conduit à la relation familière suivante :

$$\frac{1}{C_t} = \beta_m v_{t+1} \frac{1}{C_{t+1}} \quad (9)$$

1.2.2 Le comportement des firmes

On considère un continuum de firmes identiques sur l'intervalle $[0, N]$, fabriquant le même bien final et en concurrence parfaite. La quantité de bien y_t produite par la firme représentative à la date t incorpore la quantité de RN $x_t = \mu_t y_t$ ⁵. Pour extraire cette quantité, elle a besoin du stock de capital k_t défini par :

$$k_t = \frac{x_t^{1/\gamma}}{A(K_t, E_t)}, \quad \gamma < 1 \quad (10)$$

$\gamma < 1$ traduit le fait que les rendements sont décroissants au niveau de la firme. La fonction A dépend de deux effets externes :

- le premier est lié au stock de capital total K_t (c-à-d installé par l'ensemble des entreprises) et est positif ($A'_K > 0$), traduisant l'influence positive du capital macroéconomique sur la productivité des entreprises;
- le second est lié au taux d'exploitation de la RN $E_t = X_t/R$ (où X_t est la quantité extraite par l'ensemble des firmes) et est négatif ($A'_E < 0$), traduisant le fait que le capital nécessaire pour exploiter une unité de ressource augmente avec le taux d'exploitation de celle-ci.

A chaque période, la firme représentative détermine sa production, son stock de capital (loué aux ménages) et la quantité de RN dont elle a besoin de façon à maximiser son profit, tout en ignorant les effets externes sur lesquels son influence est infinitésimale :

$$\max_{y_t, k_t, x_t} \pi_t = y_t - v_t k_t - \tau_t x_t \quad (11)$$

sous les contraintes $x_t = \mu_t y_t$ et (10). La RN est en accès libre mais son usage est frappé d'une taxe τ_t prélevée par l'Etat. Les firmes étant en concurrence parfaite, les prix sont exogènes au niveau de la firme. La condition du premier ordre s'écrit :

$$\frac{k_t}{y_t} = \frac{\gamma [1 - \mu_t \tau_t]}{v_t} \quad (12)$$

Comme τ_t est un prélèvement par unité de RN et que μ_t est la quantité de RN par unité produite, le produit $\mu_t \tau_t$ revient à un prélèvement par unité de bien final.

1.2.3 La dynamique de l'équilibre décentralisé

Comme on considère un continuum de firmes identiques sur l'intervalle $[0, N]$, la production agrégée vaut $Y_t = \int_0^N y_t(i) di = N y_t$. De même, au niveau de la quantité utilisée de RN et du capital, on a $X_t = N x_t = N \mu_t y_t = \mu_t Y_t$ et $K_t = N k_t$.

⁴Qui se confondent avec les profits purs des entreprises : $\Omega_t = N \pi_t$ (cfr. infra).

⁵Cette égalité est l'équivalent au niveau de la firme de la relation (1) qui s'applique à l'ensemble de l'économie.

Alors, dans le cas particulier où $A(K_t, E_t) = a^{\frac{1}{\gamma}} \frac{K_t^{\frac{1}{\gamma}-1} [1-E_t]^{\frac{1}{\gamma}}}{N^{\frac{1}{\gamma}-1}}$ (où a est un paramètre technologique constant et positif), on montre aisément que (10) conduit à (3). De même, (12) devient au niveau macroéconomique :

$$\frac{K_t}{Y_t} = \frac{\gamma [1 - \mu_t \tau_t]}{v_t} \quad (13)$$

Les relations (4), (9), (13) conduisent à une propriété intéressante. En effet, (4) et (9) impliquent $\frac{C_t}{C_{t-1}} = \beta_m \gamma [1 - \mu_t \tau_t] \frac{Y_t}{K_t}$, d'où $\frac{K_t}{C_{t-1}} = \beta_m \gamma [1 - \mu_t \tau_t] \frac{Y_t}{C_t}$. Alors, en vertu de (4) : $\frac{Y_{t-1} - C_{t-1}}{C_{t-1}} = \beta_m \gamma [1 - \mu_t \tau_t] \frac{Y_t}{C_t}$. Posant $\alpha_t = \beta_m \gamma [1 - \mu_t \tau_t]$ et $z_t = \frac{Y_t}{C_t}$, on obtient l'équation aux différences du 1er ordre :

$$z_{t-1} - 1 = \alpha_t z_t \quad (14)$$

On obtient donc une équation séparable décrivant l'évolution de l'inverse de la propension à consommer⁶.

Dans le cas particulier où α_t est constant (ce qui suppose que le prélèvement par unité produite $\mu_t \tau_t$ soit constant), la solution générale s'écrit :

$$z_t = \frac{1 - \alpha^{T+1-t}}{1 - \alpha} \quad (15)$$

Si en plus l'horizon de temps des agents est infini ($T \rightarrow \infty$) et vu que $\alpha < 1$, alors z_t est constant et égal à $1/[1 - \alpha]$. Dans ce cas, $C_t = [1 - \alpha] Y_t$ et la propension à épargner est également constante et égale à $\alpha = \beta_m \gamma [1 - \mu \tau]$ ⁷. On observe que α est d'autant plus élevé que (i) le facteur d'excompte β_m est élevé et que (ii) l'élasticité du capital à la production au niveau microéconomique $\left(\frac{y_t}{k_t} \frac{\partial k_t}{\partial y_t} = \frac{1}{\gamma}\right)$ est faible. De même, α est d'autant plus faible que le prélèvement $\mu \tau$ est élevé.

Par ailleurs, (1), (3), (4) impliquent :

$$Y_{t-1} \left[1 - \frac{1}{z_{t-1}}\right] = \frac{a \mu_t Y_t}{1 - \frac{\mu_t Y_t}{R}} \quad (16)$$

Comme μ_t est exogène, une fois qu'on a calculé z_t pour $t \in \{1, \dots, T\}$ grâce à (14), on peut résoudre (16) de façon prospective connaissant le niveau initial de la production ou du capital.

1.3 L'économie centralisée

Le planificateur est supposé maximiser l'indicateur d'utilité globale $\sum_{t=T_i+1}^T \beta_p^t u_t$, où u_t est l'utilité instantanée du ménage représentatif définie par (8). β_p est son facteur d'escompte ($0 < \beta_p \leq 1$) qui peut éventuellement être différent de celui des ménages. $T_i \geq 0$ est la date à partir de laquelle le planificateur dirige l'économie. Compte tenu de (6) et du fait que $z_t = \frac{Y_t}{C_t}$, l'objectif s'écrit :

$$\max_{\{Y_t, z_t\}_{t=T_i+1, \dots, T}} \sum_{t=T_i+1}^T \beta_p \left[\ln \left(\frac{Y_t}{z_t} \right) - \sigma \eta_t Y_t \right] \quad (17)$$

sous la contrainte (16). L'objectif (17) montre qu'il tient compte de l'effet externe dû à la pollution. Il en va de même des effets externes liés à l'exploitation de la RN et à la production à travers la contrainte (16).

Les conditions du premier ordre impliquent (cfr. Annexe A) :

$$z_{t-1} - 1 = \beta_p [z_t - \sigma \eta_t Y_t] \left[1 - \frac{\mu_t Y_t}{R} \right], \quad t = T_i + 1, \dots, T \quad (18)$$

avec $z_T = 1$. Couplée avec (16), cette équation décrit la dynamique en économie centralisée pour $t > T_i$.

⁶En horizon T fini, la condition terminale s'écrit $K_{T+1} = 0$, ce qui est équivalent à $z_T = 1$.

⁷Il importe de souligner que cette constance du taux d'épargne n'est pas une hypothèse; elle résulte des caractéristiques du modèle (utilité de la consommation logarithmique et taux de dépréciation du capital unitaire) et ne vaut qu'en horizon infini.

2 Résolution du modèle

On commence par caractériser les équilibres (ou états) stationnaires des économies décentralisée et centralisée, pour ensuite analyser la dynamique de ces économies, avec une attention particulière à la phase transitoire. Rappelons que vu les hypothèses technologiques sur lesquelles repose le modèle (cfr. sous-section 1.1), un sentier de croissance indéfinie est impossible.

2.1 Les équilibres stationnaires

Ces états sont caractérisés par la constance des variables, ce qui suppose en particulier que le contenu en RN d'un bien μ_t et le niveau de la taxe sur la RN τ_t (qui sont exogènes) le soient aussi. Soient μ et τ les valeurs stationnaires respectives de μ_t et τ_t .

2.1.1 Condition de faisabilité

Pour faire sens, un équilibre stationnaire doit satisfaire certaines conditions. A l'équilibre, (3) et (5) et la condition $0 \leq s \leq 1$ impliquent que

$$0 \leq s = \frac{a\mu}{1-E} \leq 1 \quad (19)$$

où $E = \mu Y/R$ est le taux d'exploitation de la RN à l'équilibre. $0 < E \leq 1$ entraîne par voie de conséquence $a\mu < 1$. Si cette inégalité devait être violée, une économie ne pourrait maintenir son niveau d'activité même en attribuant toute la production à l'investissement.

Si $a\mu < 1$, un équilibre stationnaire existe dès lors que l'une des deux inégalités suivante est satisfaite :

- soit le taux d'exploitation caractérisant cet équilibre satisfait

$$E \leq 1 - a\mu \quad (20)$$

et (19) détermine alors le taux d'épargne nécessaire pour assurer E ;

- soit le taux d'épargne caractérisant cet équilibre satisfait

$$s > a\mu \quad (21)$$

et la relation $E = 1 - \frac{a\mu}{s}$ obtenue à partir de (19) fournit alors le taux d'exploitation qui peut être obtenu avec s .

Le *domaine de faisabilité* de l'économie, c-à-d l'ensemble des équilibres stationnaires possibles avec production positive, est donc défini par l'intervalle $]a\mu, 1]$ pour le taux d'épargne, ou alternativement par l'intervalle $]0, 1 - a\mu]$ pour le taux d'exploitation⁸.

2.1.2 Economie décentralisée

L'équilibre stationnaire décentralisé (ESD) est caractérisé par les valeurs suivantes (cfr. Annexe B.1) :

$$s_* = \alpha = \beta_m \gamma [1 - \mu\tau] \quad (22)$$

$$z_* = \frac{1}{1 - \alpha} \quad (23)$$

$$E_* = 1 - \frac{a\mu}{\alpha} \quad (24)$$

$$Y_* = \frac{E_* R}{\mu} = \left[1 - \frac{a\mu}{\alpha}\right] \frac{R}{\mu} \quad (25)$$

$$C_* = \frac{Y_*}{z_*} = [1 - \alpha] \left[1 - \frac{a\mu}{\alpha}\right] \frac{R}{\mu} \quad (26)$$

⁸Il importe de souligner que ce domaine est déterminé indépendamment de toute considération institutionnelle, autrement dit de son caractère centralisé ou décentralisé.

A l'ESD, la production Y_* est proportionnelle au taux d'exploitation de la RN E_* , qui lui-même dépend positivement du taux d'épargne α . Or celui-ci dépend négativement de τ . En conséquence, une taxation de la RN plus élevée se traduit par un taux d'exploitation et une production moindres à l'ESD. L'effet sur C_* est en revanche ambigu⁹.

Pour que l'ESD soit faisable, le taux d'épargne défini par (22) doit satisfaire (21), ce qui implique :

$$\tau < \frac{1}{\mu} \left[1 - \frac{a\mu}{\beta_m \gamma} \right] \quad (27)$$

Il faut en premier lieu que le terme entre crochets soit positif, ce qui impose $a\mu < \beta_m \gamma$; le facteur d'escompte (β_m) des ménages ne doit pas être trop petit et les rendements d'échelle au niveau de la firme (mesurés par γ) ne doivent pas être trop décroissants. Si l'inégalité précédente est bien satisfaite, il faut en outre que le taux de taxation de la RN ne soit pas trop élevé. En effet, comme cette taxation décourage l'épargne et l'investissement, un taux trop élevé se traduirait par une épargne insuffisante pour maintenir l'activité à son niveau d'équilibre.

2.1.3 Economie centralisée

Le taux d'épargne caractéristique de l'équilibre stationnaire optimal (ESO) est défini implicitement par l'équation suivante (cfr. Annexe B.2) :

$$\sigma \eta \left[1 - \frac{a\mu}{s_o} \right] \frac{R}{\mu} = \frac{1}{1 - s_o} \left[1 - \frac{s_o^2}{\beta_p a \mu} \right] \quad (28)$$

Les autres valeurs caractérisant l'ESO sont données par :

$$\begin{aligned} z_o &= \frac{1}{1 - s_o} \\ E_o &= 1 - \frac{a\mu}{s_o} \\ Y_o &= \frac{E_o R}{\mu} = \left[1 - \frac{a\mu}{s_o} \right] \frac{R}{\mu} \\ C_o &= \frac{Y_o}{z_o} = [1 - s_o] \left[1 - \frac{a\mu}{s_o} \right] \frac{R}{\mu} \end{aligned}$$

On montre aisément que (i) s_o appartient à l'intervalle $[a\mu, \sqrt{\beta_p a \mu}]$ et (ii) pour que l'ESO appartienne au domaine de faisabilité, les paramètres exogènes doivent satisfaire¹⁰ :

$$a\mu < \beta_p \quad (29)$$

Le facteur d'escompte du planificateur ne doit donc pas être trop petit pour que l'ESO soit faisable.

L'ESO est dit *décentralisable* s'il existe un taux de taxation permettant à l'économie décentralisée de l'atteindre. Autrement dit si :

$$\exists \tau \in \left[0, \frac{1}{\mu} \right] : s_* = \alpha = \beta_m \gamma [1 - \mu \tau] = s_o \quad (30)$$

Ayant calculé s_o via (28), on obtient le taux de taxation optimal via (30) :

$$\tau_o = \frac{1}{\mu} \left[1 - \frac{s_o}{\beta_m \gamma} \right] \quad (31)$$

⁹Vu la sous-section précédente, C_* est une fonction de α sur l'intervalle $]a\mu, 1]$. Comme C_* est positive sur l'intervalle et nulle aux deux extrémités, il en découle qu'il s'agit d'une fonction non monotone de α .

¹⁰Comme le membre de gauche de (28) est positif, il faut que le terme entre crochets du membre de droite soit positif, ce qui $\Rightarrow s_o^2 \leq \beta_p a \mu \Rightarrow s_o \leq \sqrt{\beta_p a \mu}$. En vertu de (21), la solution de (28) appartient donc à l'intervalle $[a\mu, \sqrt{\beta_p a \mu}]$. Pour que cet intervalle soit non vide, il faut que $a\mu < \sqrt{\beta_p a \mu} \Rightarrow [a\mu]^2 < \beta_p a \mu \Rightarrow a\mu < \beta_p$.

Une condition nécessaire et suffisante pour que (30) puisse être satisfaite est que $s_o < \beta_m \gamma$. Cette inégalité fait intervenir s_o qui malheureusement n'est pas connu explicitement. Cependant on sait que (i) $s_o \in [a\mu, \sqrt{\beta_p a\mu}]$ et (ii) s_* décroît de $\beta_m \gamma$ à $a\mu$ si on augmente τ de 0 à $\frac{1}{\mu} \left[1 - \frac{a\mu}{\beta_m \gamma}\right]$ (cfr. (22)). En conséquence, une condition suffisante pour que (30) puisse être satisfaite s'écrit $\sqrt{\beta_p a\mu} < \beta_m \gamma$ ou encore

$$\beta_p < \frac{\beta_m^2 \gamma^2}{a\mu}$$

Le facteur d'escompte des pouvoirs publics ne doit donc pas être trop grand pour que l'ESO soit décentralisable.

2.2 Analyse de la dynamique

2.2.1 La simulation de référence

La simulation de référence (SR) décrit une économie décentralisée caractérisée par (i) l'absence de progrès technique tant au niveau de l'usage de la RN ($\mu_t = \mu$) que du traitement de la pollution ($\eta_t = \eta$) et (ii) l'absence de taxation ($\tau_t = 0$). Alors z_t obéit à (15). Si en outre $T \rightarrow \infty$, alors $z_t = 1/[1 - \beta_m \gamma]$. Dans ce cas, (16) se réécrit :

$$Y_{t-1} = \frac{a\mu}{\beta_m \gamma} \frac{Y_t}{1 - \frac{\mu Y_t}{R}} \quad (32)$$

Cette équation admet pour solution¹¹ :

$$Y_t = \left[\left[\frac{1}{Y_0} - \frac{\mu}{R} \frac{1}{1 - \frac{a\mu}{\beta_m \gamma}} \right] \left[\frac{a\mu}{\beta_m \gamma} \right]^t + \frac{\mu}{R} \frac{1}{1 - \frac{a\mu}{\beta_m \gamma}} \right]^{-1} \quad (33)$$

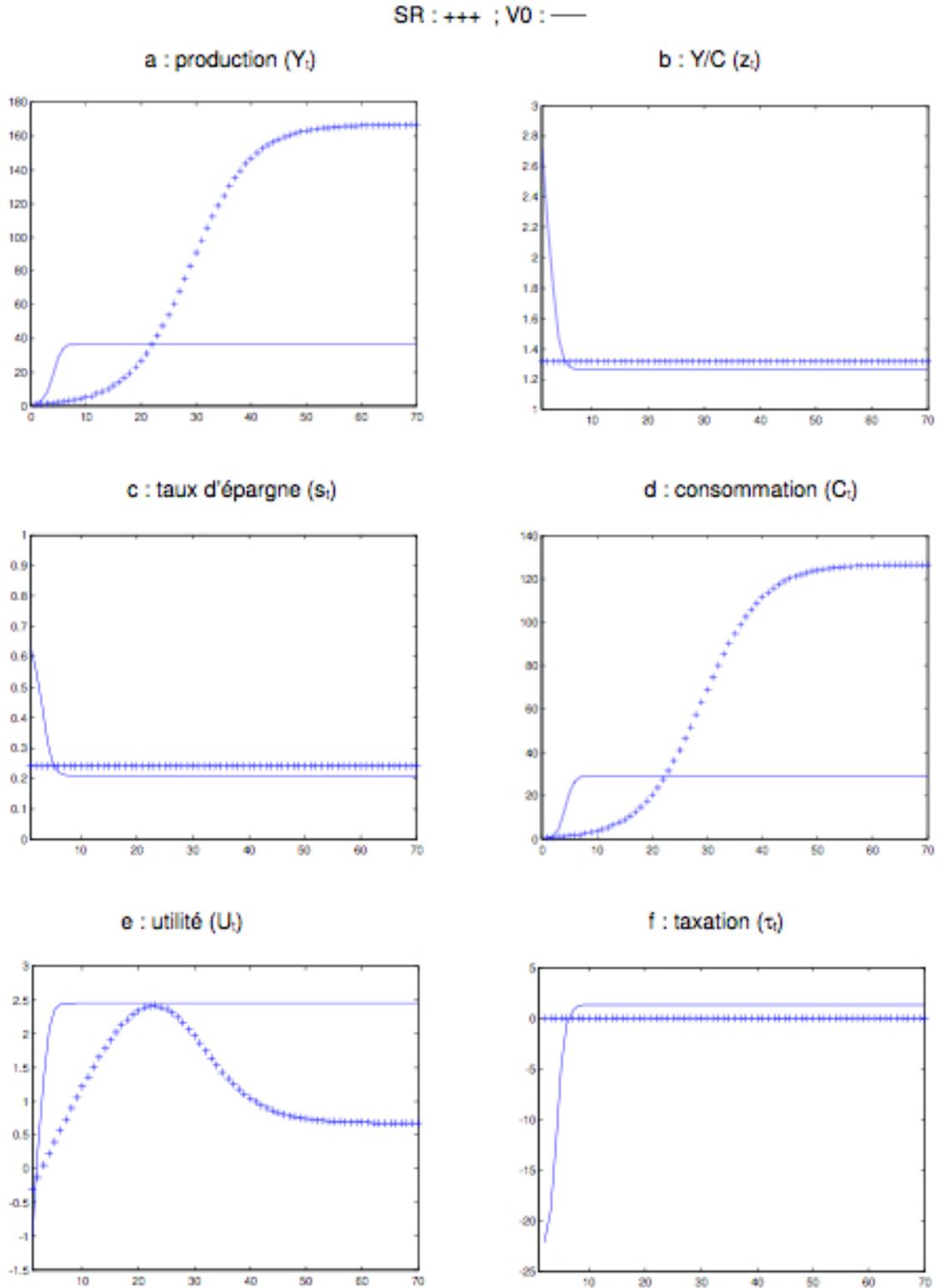
Les Figures 1.a-f illustrent le comportement des différentes variables dans le cadre de SR. La courbe de la production Y_t a une allure logistique. A cause des rendements décroissants au niveau de l'exploitation de la RN, la croissance ralentit et Y_t tend de façon monotone vers sa valeur stationnaire Y_* . L'inverse de la propension à consommer z_t est une constante en conformité avec (15) quand $T \rightarrow +\infty$. Il en va de même du taux d'épargne s_t . En conséquence, la consommation $C_t = Y_t/z = [1 - s] Y_t$ a la même allure que la production. En revanche, l'utilité instantanée u_t se comporte de façon non monotone à cause de la pollution. Après une phase croissante, u_t passe par un maximum pour décroître ensuite et tendre vers sa valeur stationnaire u_* . Quand elle est gérée d'une façon décentralisée, la croissance de l'économie s'accompagne d'une augmentation continue de la consommation, mais il n'en va pas de même au niveau de l'utilité des ménages à cause de l'effet délétère de la pollution.

Le retournement de la courbe d'utilité des ménages décrit par la Figure 1.e n'est pas sans évoquer l'*hypothèse de seuil* énoncée par Max-Neef (1995), selon laquelle au delà d'un certain niveau de PIB par tête (le seuil), le bien-être (ou la qualité de la vie) est susceptible de décroître avec la croissance économique. Cette hypothèse est confirmée empiriquement par Kubiszewski et al. (2013). En utilisant comme mesure du bien-être l'Indicateur de Progrès Véritable (Genuine Progress Indicator)¹² et en l'appliquant pour la période 1950-2005 à un ensemble de pays représentant plus de la moitié de la population mondiale, ces auteurs montrent que (i) cet indicateur atteint son maximum en 1978 et décline ou plafonne par après et (ii) le seuil correspond à un PIB/tête autour de 7000\$US de 2005.

¹¹(32) peut se réécrire $\frac{1}{Y_{t-1}} = \frac{s}{\beta_m \gamma \mu} \left[\frac{1}{Y_t} - \frac{\mu}{R} \right]$, ou encore en posant $x_t = 1/Y_t$, $x_t = \frac{a\mu}{\beta_m \gamma} x_{t-1} + \frac{\mu}{R}$. La solution de l'équation homogène associée est $c \left[\frac{a\mu}{\beta_m \gamma} \right]^t$, où c est une constante d'intégration à déterminer. Une solution particulière de l'équation précédente est $\frac{\mu}{R} \frac{1}{1 - \frac{a\mu}{\beta_m \gamma}}$, et donc la solution générale s'écrit $x_t = c \left[\frac{a\mu}{\beta_m \gamma} \right]^t + \frac{\mu}{R} \frac{1}{1 - \frac{a\mu}{\beta_m \gamma}}$. Si $Y_t = Y_0$ en $t = 0$, alors $c = \frac{1}{Y_0} - \frac{\mu}{R} \frac{1}{1 - \frac{a\mu}{\beta_m \gamma}}$. En conséquence, on obtient (33).

¹²Cet indicateur, créé par Daly et Cobb (1990), est obtenu en ajustant la consommation agrégée via différentes

Figure 1: Comparaison des simulations SR et V0



2.2.2 Economie centralisée

Outre la SR, les Figures 1.a-f décrivent la simulation V0 qui concerne une économie centralisée où le planificateur gère l'économie *depuis le début* de la trajectoire avec un facteur d'escompte identique à celui des ménages ($\beta_p = \beta_m$). Comme pour SR, il n'y a pas de progrès technique. Partant du même niveau initial (déterminé par un stock de capital K_1 hérité du passé), la production Y_t croît d'abord plus vite qu'en économie décentralisée pour ensuite se stabiliser à un niveau sensiblement inférieur. L'inverse de la propension à consommer z_t démarre d'une valeur très élevée, traduisant un fort désir de croissance en début de trajectoire. Il en découle un niveau initial de consommation C_1 plus faible que dans le cas décentralisé. Il en va de même de l'utilité initiale u_1 puisque le niveau de pollution est identique en $t = 1$ pour les deux économies (la production étant identique). En ce sens, la politique du planificateur "sacrifie" les ménages du début de la dynastie. En revanche, les ménages bénéficient par après ($t \geq 2$) d'une utilité supérieure et celle-ci croît de façon monotone grâce à la prise en compte de la pollution.

La mise en oeuvre de la gestion du planificateur *dans un cadre décentralisé* suppose un taux de taxation τ_t variable dont la trajectoire est illustrée par la Figure 1.f. Pendant les premières périodes, ce taux est négatif ce qui revient à dire que les pouvoirs publics doivent subventionner l'exploitation de la RN par les entreprises¹³. Par après, τ_t devient positif et se stabilise à la valeur constante τ_o donnée par (31).

3 Politiques de décroissance

Dans cette section, on étudie les effets de *politiques de décroissance volontaire* sur les principales variables économiques. L'instrument de ces politiques est une taxe prélevée sur l'exploitation de la RN. Le niveau (variable dans le temps) de la taxe est choisi de manière à reproduire en économie décentralisée la trajectoire qui aurait été choisie par le planificateur selon l'objectif (17). Ces politiques n'ont de sens qu'en économie décentralisée et sont supposées résulter de l'observation par les pouvoirs publics du retournement de la courbe d'utilité des ménages. Leur mise en route peut prendre un certain temps au sens où il peut y avoir un délai plus ou moins long entre la date du retournement (c-à-d le moment où U_t atteint son maximum; cfr. Figure 1.e) et la date où la taxe commence à être prélevée. La cause de ce délai dépasse le cadre de ce papier, aussi est-t-il considéré comme exogène et on se limitera à montrer les conséquences d'un délai plus ou moins long, en particulier sur le bien-être des ménages. On supposera aussi que la politique de décroissance n'est pas annoncée par les pouvoirs publics, et donc non anticipée par les ménages. Cette hypothèse a le mérite de grandement faciliter la résolution du modèle dans la mesure où le calcul de la trajectoire décentralisée (celle qui précède l'intervention) ne dépend pas de la trajectoire centralisée (celle qui suit l'intervention).

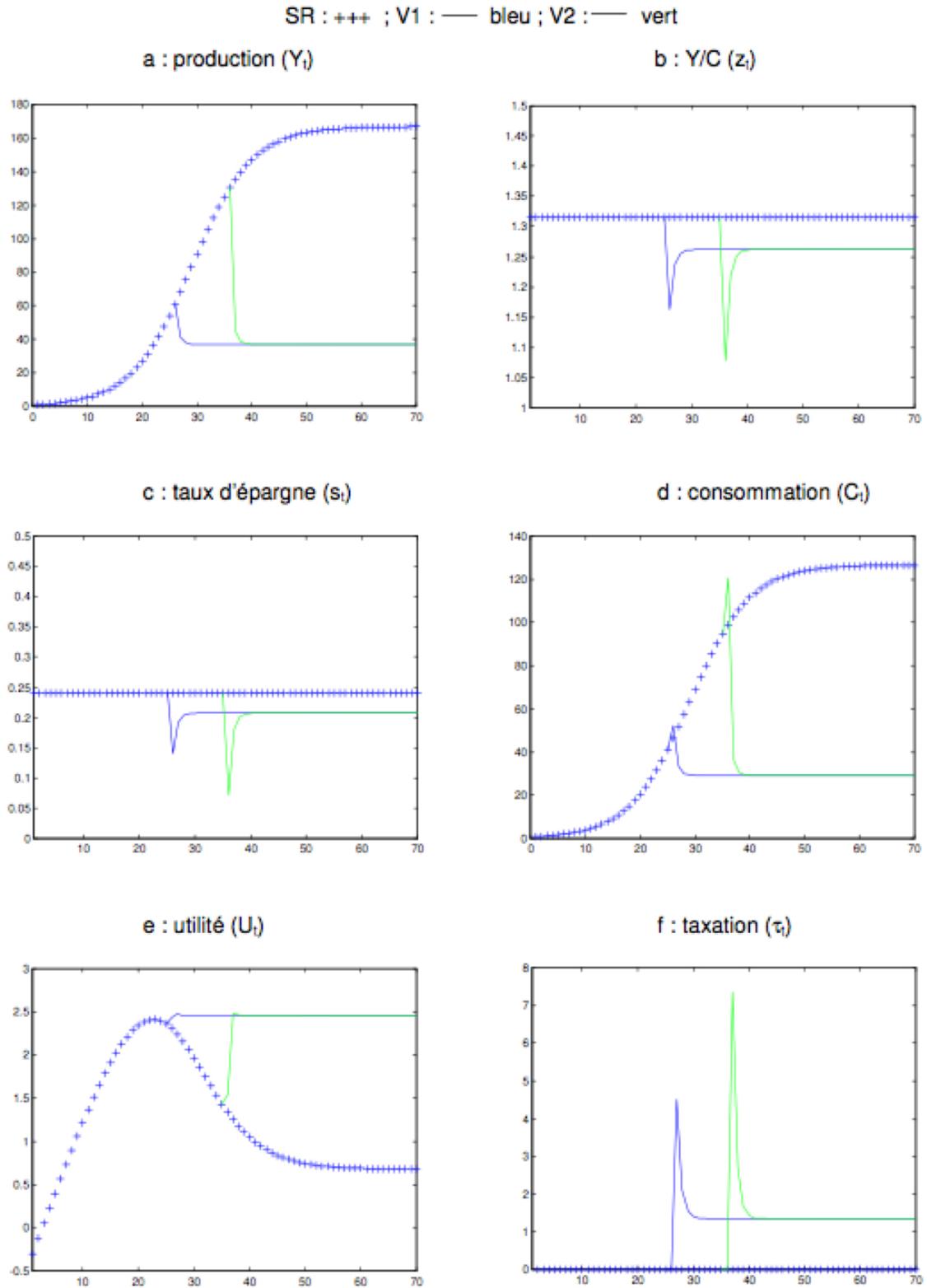
Les Figures 2.a-f comparent SR et la variante V1 où la date d'intervention des pouvoirs publics (T_i) survient assez rapidement après celle du maximum de U_t (2 périodes). Par rapport à SR, la taxe se traduit par un retournement de la production Y_t dès $T_i + 2$. Suite à la taxation de la RN, la profitabilité des entreprises baisse, ce qui réduit leur demande de capital. En conséquence, le loyer du capital diminue ce qui incite les ménages à moins investir. D'où un stock de capital moindre, qui se traduit à son tour par une baisse de la production. La Figure 2.d montre qu'il en va de même pour la consommation. Le fait que C_{T_i+1} soit supérieur dans le cadre de V1 par rapport à SR s'explique par la baisse de l'investissement (induite par la taxe) à production inchangée¹⁴. Cette variation positive de C_{T_i+1} (par rapport à SR) se traduit par une diminution sensible de z_{T_i+1} et de s_{T_i+1} (par rapport à SR), rendue elle-même possible par un taux de taxation suffisamment élevé en début d'intervention (cfr. Figure 2.f). Par après, les variables z_t , s_t et τ_t se rapprochent

"corrections" positives ou négatives, liées notamment à la distribution des revenus, aux coûts environnementaux, au travail domestique, etc. Il est donc beaucoup plus large que le concept d'utilité utilisé ici, qui ne dépend que de la consommation et de la pollution.

¹³Comme les finances publiques sont supposées équilibrées, le financement de cette subvention provient d'un prélèvement forfaitaire sur les revenus des ménages.

¹⁴En $T_i + 1$, la production est déterminée par le capital hérité du passé (c-à-d avant intervention des pouvoirs publics) et donc $Y_{T_i+1}^{SR} = Y_{T_i+1}^{V1}$.

Figure 2: Comparaison des simulations SR, V1 et V2



de leurs valeurs caractérisant SR car entretemps, la production baisse. Une taxe aussi élevée qu'en début d'intervention n'est alors plus nécessaire pour brider le désir d'accumulation des agents¹⁵.

Comme le montre la Figure 2.e, l'effet de la politique de décroissance est une hausse de U_{T_i+1} par rapport à SR. Celle-ci découle de celle de C_{T_i+1} , alors que la pollution est déterminée par la production qui est identique dans les deux simulations. Pour $t > T_i + 1$, les variables tendent vers leurs valeurs stationnaires respectives d'une façon monotone. Sauf U_t qui augmente d'abord pendant une courte période transitoire avant de décliner de façon monotone vers U_o . Ce comportement "complexe" s'explique par le fait que l'utilité se calcule comme la différence de deux variables évoluant dans le même sens (Y_t et C_t). Quand on confronte les Figures 2.a et e, il apparaît que la politique respecte les principes d'une politique de décroissance volontaire, à savoir *à la fois* (i) réduire la production et la pollution et (ii) accroître le bien-être des ménages (par rapport à la situation de laisser-faire).

Qu'arrive-t-il si les autorités réagissent plus tard ? Les Figures 2.a-f illustrent également la variante V2 où l'intervention des autorités survient dix périodes plus tard que dans le cas de V1. Elles montrent des variations de plus grande ampleur des variables (par rapport à SR) mais les résultats ne sont pas qualitativement différents. Comme la réaction des autorités est plus tardive, la production et la consommation ont le temps de plus augmenter avant leur intervention (cfr. Figures 2.a et d). L'état final étant identique pour V1 et V2, la "correction" vers le bas n'en est que plus forte. Il en va de même pour z_{T_i+1} et s_{T_i+1} , et ceci n'est possible que par l'imposition d'un taux de taxation plus élevé en début d'intervention par rapport à V1 (cfr. Figure 2.f).

Les autorités ayant réagi plus tard, l'utilité des agents a pu décroître plus fortement avant l'intervention. Pour les mêmes raisons qu'au paragraphe précédent, la remontée vers le même état stationnaire n'en est évidemment que plus prononcée. Dans le cadre du modèle simple développé ici, le moment de l'intervention des autorités n'a pas d'importance à long terme car celle-ci conduit toujours au même état stationnaire. En revanche, il n'en va pas de même à court terme : une réaction plus tardive doit se traduire par une politique plus agressive au sens où le taux de taxation doit être initialement plus élevé.

4 Variantes

4.1 Différence dans le facteur d'escompte ($\beta_p \neq \beta_m$)

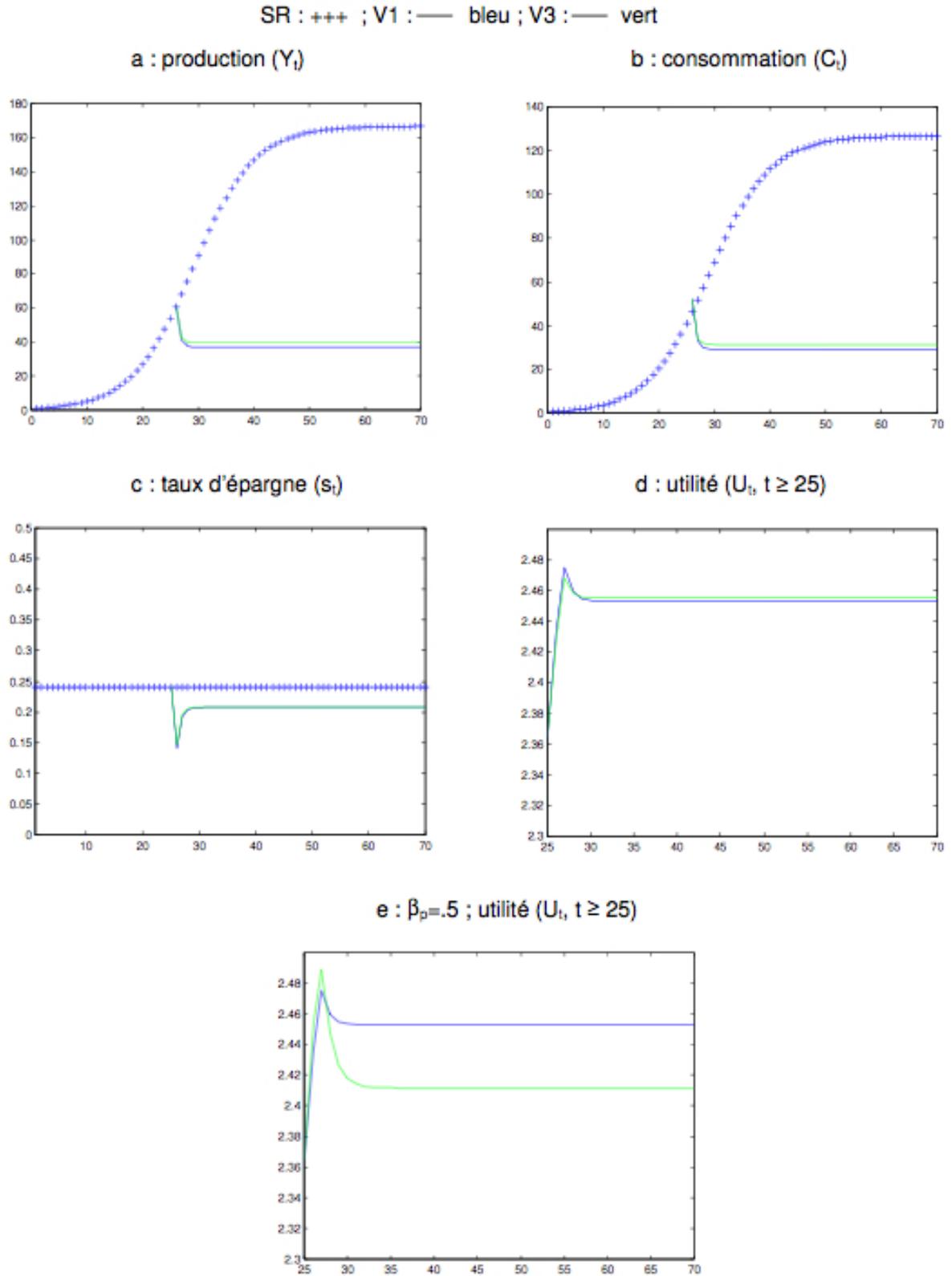
Jusqu'ici, on a supposé que $\beta_p = \beta_m$. On peut alternativement supposer que l'autorité publique est plus soucieuse des générations futures que les ménages du début de la dynastie. On se propose ici de comparer la variante V1 analysée ci-dessus où $\beta_p = \beta_m = .8$ avec une nouvelle variante V3 où $\beta_p = 1 > \beta_m = .8$. La date de l'intervention de l'autorité est la même dans les deux simulations.

Que ce soit en termes d'équilibre stationnaire ou de dynamique, les Figures 3.a-f montrent selon les variables des différences peu importantes, voire insignifiantes. Les deux simulations se distinguent surtout au niveau de la production Y_t et de la consommation C_t qui convergent vers des valeurs stationnaires supérieures quand $\beta_p = 1$ (cfr. Figures 3.a-b). En revanche, les différences sont peu perceptibles au niveau du taux d'épargne (cfr. Figures 3.c), de l'utilité et du taux de taxation.

A l'exception de la première période suivant l'intervention, C_t est toujours supérieure quand $\beta_p = 1$. Comme la pollution en $T_i + 1$ demeure la même pour les deux variantes (puisque l'activité est déterminée par le stock de capital hérité du passé), on a en conséquence $U_{T_i+1}^{V3} < U_{T_i+1}^{V1}$. La Figure 3.d montre que l'inégalité se vérifie encore jusque $t = T_i + 3$. Par rapport à la SR, un facteur d'escompte β_p plus élevé se traduit par des gains d'utilité *moindres* pour les premières générations. La Figure 3.d montre également que β_p plus élevé implique un relatif lissage de la courbe d'utilité au sens où le maximum est moins élevé. En revanche, l'écart d'utilité entre le début de la trajectoire et l'état stationnaire ($U_o - U_{T_i+1}$) est plus élevé pour V3 que pour V1. Si pour une raison ou une autre, les autorités devaient souhaiter privilégier les ménages des premières périodes suivant l'intervention, il faudrait alors que $\beta_p < \beta_m$. La Figure 3.e le confirme pour $\beta_p = .5$.

¹⁵Le caractère non monotone de z_t, s_t et τ_t après T_i est donc dû à une sorte d'effet de bord lié à un stock de capital hérité du passé.

Figure 3: Comparaison des simulations SR, V1 et V3



4.2 Progrès technique au niveau de l'usage de la RN

On étudie maintenant le comportement d'une économie décentralisée caractérisée par un progrès technique (PT) qui économise le contenu en RN de la production. Ce PT est borné au sens où μ_t décroît de façon monotone au cours du temps de μ_1 à $\mu = \lim_{t \rightarrow +\infty} \mu_t > 0$, où μ_1 et μ sont respectivement les valeurs initiale et limite du contenu en ressource d'une unité du bien. Le rapport μ_1/μ désigne le potentiel de progrès technique en début de trajectoire. Comme flux de RN et PT sont bornés, il ne peut y avoir de croissance indéfinie et l'économie ne peut tendre (au mieux) que vers un état stationnaire.

La simulation SR2 est identique à SR sauf que μ_t n'est plus constant mais décroît de la même valeur μ_1 vers $\mu^{SR2} = .9\mu^{SR}$. Sur base des Figures 4.a-f qui comparent SR et SR2 (traits non continus), on observe que la présence du PT permet à la production Y_t de tendre vers un niveau stationnaire sensiblement supérieur (cfr. Figure 4.a). En revanche, comme les deux simulations supposent le laisser-faire (il n'y a pas de taxation), l'inverse de la propension à consommer z_t et le taux d'épargne s_t sont identiques dans les deux simulations (cfr. Figures 4.b-c). Il en découle que la différence entre trajectoires observée au niveau de la production se retrouve au niveau de la consommation C_t (cfr. Figure 4.d). Si les ménages bénéficient d'un plus haut niveau de consommation dans SR2, ils sont aussi plus affectés par la pollution. Pendant les 20 premières périodes, l'effet "consommation" l'emporte sur l'effet "pollution", mais par après, c'est l'inverse et l'utilité U_t tend vers une valeur stationnaire sensiblement inférieure (cfr. Figure 4.e). Dans le cadre du présent modèle, il apparaît donc que le PT n'est bénéfique que transitoirement dans une économie décentralisée et devient délétère à long terme.

Les Figures 4.a-f comparent également les variantes V1 et V4 (traits continus) qui résultent d'une intervention des pouvoirs publics respectivement en l'absence et en présence de PT¹⁶. Pour les deux simulations, l'intervention est supposée se produire deux périodes après que l'utilité U_t ait atteint son maximum. Comme U_t atteint son maximum plus tôt en présence de PT (Figure 4.e), l'intervention des pouvoirs publics survient également plus tôt dans le cadre de V4.

La Figure 4.a montre que les niveaux asymptotiques de Y_t atteints suite à la mise en place de la taxe sont très proches pour les deux variantes. Il en découle que la réduction d'activité est nettement plus élevée en présence de PT (l'écart entre SR2 et V4 est plus grand que celui entre SR et V1). Cela suppose une baisse plus prononcée de z (et donc de s), que ce soit à court ou à long terme (cfr. Figures 4.b-c). Celle-ci suppose à son tour une taxation plus élevée tant à court qu'à long terme, comme le montre la Figure 4.f. L'intervention des pouvoirs publics permet à l'économie de converger vers un état stationnaire caractérisé par un niveau d'utilité supérieur à celui obtenu en l'absence de PT (Figure 4.e). A long terme, le PT se révèle donc positif ou négatif selon le contexte institutionnel. Dans une économie décentralisée, le PT exacerbe les externalités de pollution et son impact se révèle alors négatif car les agents ne tiennent pas compte de ces dernières.

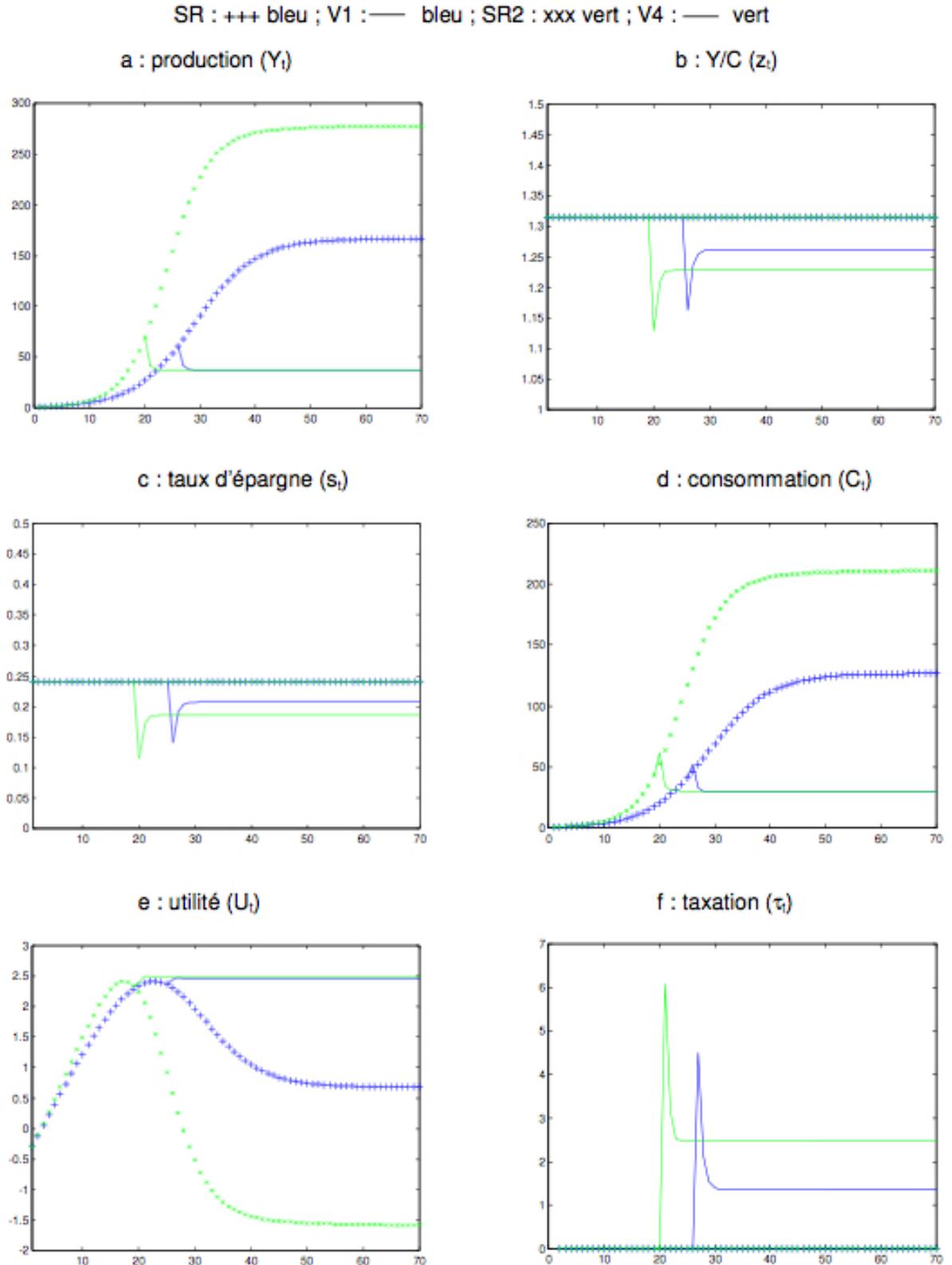
4.3 Progrès technique au niveau du traitement de la pollution

On étudie maintenant le comportement d'une économie décentralisée caractérisée par un PT qui permet de réduire la pollution à production donnée. A nouveau, ce PT est considéré comme borné à cause de contraintes physiques ou parce que le traitement intégral de la pollution serait d'un coût prohibitif. Formellement, η_t décroît de façon monotone au cours du temps de η_1 à $\eta = \lim_{t \rightarrow +\infty} \eta_t > 0$, où η_1 et η sont respectivement les valeurs initiale et limite du contenu en polluant d'une unité du bien.

La simulation SR3 est identique à SR sauf que η_t n'est plus constant mais décroît de la même valeur η_1 vers $\eta^{SR3} = .75\mu^{SR}$. Sur base des Figures 5.a-f qui comparent SR et SR3 (traits non continus), on observe que les deux simulations conduisent aux mêmes trajectoires de la production Y_t , de l'inverse de la propension à consommer z_t , du taux d'épargne s_t et de la consommation C_t . Ce résultat s'explique par le fait que la pollution n'influence pas le choix de ces variables en situation de laisser-faire (situation qui caractérise SR et SR3). Si les ménages bénéficient du même niveau

¹⁶La variante V1 a été étudiée à la section 3, et est illustrée par les Figures 2.

Figure 4: Comparaison des simulations SR, V1, SR2 et V4



de consommation, ils sont aussi moins affectés par la pollution grâce aux progrès obtenus dans son traitement. Il en découle que SR3 se distingue de SR par une courbe d'utilité U_t atteignant un maximum plus élevé et 2 périodes plus tard et tendant vers une valeur stationnaire sensiblement supérieure (cfr. Figure 5.e). Dans le cadre du présent modèle, le PT dans le traitement de la pollution n'a pas d'effet *rebond* en situation de laisser-faire (contrairement au PT qui économise la RN) et a donc un effet positif tant à court qu'à long terme.

Les Figures 5.a-f comparent également les variantes V1 et V5 (traits continus) qui résultent d'une intervention des pouvoirs publics respectivement en l'absence et en présence de PT. Pour les deux simulations, l'intervention est supposée se produire deux périodes après que l'utilité U_t ait atteint son maximum. Comme U_t atteint son maximum plus tard en présence de PT (Figure 5.e), l'intervention des pouvoirs publics survient également plus tard dans le cadre de V5.

Comme les pouvoirs publics tiennent compte de la pollution et que celle-ci est moindre à production donnée grâce au PT, V5 se caractérise par un niveau asymptotique de Y_t supérieur (cfr. Figure 5.a). La Figure 5.d montre que les observations faites pour la production s'étendent à la consommation C_t . Les trajectoires de z_t et de s_t conduisent à des niveaux légèrement supérieurs pour V5. Sinon elles ne sont guère différentes sauf qu'elles sont décalées de deux périodes vers la droite (cfr. Figures 5.b-c). La perte de production (en pourcentage) par rapport au niveau atteint au moment de l'intervention est aussi légèrement moindre pour V5. Ceci suppose à son tour une taxation moins élevée tant à court qu'à long terme, comme le montre la Figure 5.f. L'intervention des pouvoirs publics permet à l'économie de converger vers un état stationnaire caractérisé par un niveau d'utilité supérieur à celui obtenu en l'absence de PT (Figure 5.e). Le gain d'utilité suite à leur intervention est cependant sensiblement moindre en présence de PT (l'écart entre les niveaux stationnaires de SR3 et V5 (courbes vertes) est plus petit que celui entre les niveaux stationnaires de SR et V1 (courbes bleues)).

Conclusion

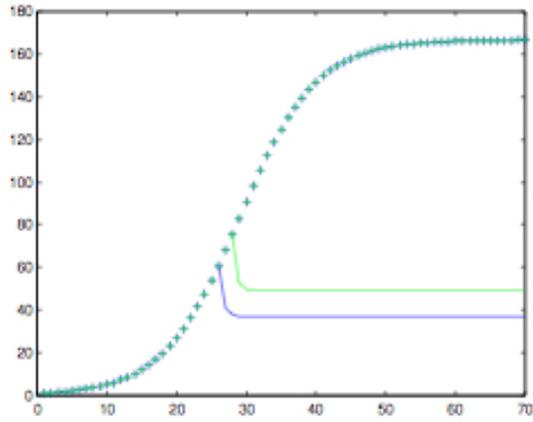
Dans le cadre d'un modèle de croissance à la Ramsey avec ressource naturelle et pollution et reposant sur certains postulats de l'économie écologique, le présent papier a eu pour but d'étudier les effets de politiques de décroissance volontaire sur les principales variables économiques et en particulier sur la production, la consommation et l'utilité des ménages. L'instrument de ces politiques est une taxe prélevée sur la ressource naturelle, qui en réduit l'usage *ceteris paribus*. Ces politiques sont supposées être appliquées par les pouvoirs publics suite au retournement de la courbe d'utilité des ménages induit par l'augmentation de la pollution. Par rapport à la simulation de référence, c-à-d la situation de laisser-faire où les agents économiques ne tiennent pas compte de la pollution, l'impact de ces politiques est à la fois de réduire la production et la pollution d'une part, et d'accroître le bien-être des ménages d'autre part. On peut donc bien parler de politiques de décroissance au sens où elles visent à une réduction de l'activité. Une réaction plus tardive des autorités publiques suite au retournement de la courbe d'utilité des ménages implique une politique plus agressive à court terme, au sens où le taux de taxation de la ressource naturelle doit être plus élevé pendant les premières périodes.

Afin de tester la sensibilité des résultats aux hypothèses, différentes variantes ont été étudiées. Une première variante suppose une préférence pour le futur plus élevée de l'autorité publique. La mise en oeuvre de la politique de décroissance se traduit alors par des gains d'utilité moindres pour les premières générations de la dynastie et supérieurs pour les suivantes. Une deuxième variante postule la présence d'un progrès technique qui économise la ressource naturelle à production donnée. En situation de laisser-faire et par rapport à la simulation où ce progrès est absent, la courbe d'utilité des ménages croît initialement plus vite, atteint son maximum plus tôt puis décline vers un état stationnaire sensiblement inférieur. Dans une économie gérée de façon décentralisée, ce progrès technique n'est donc bénéfique que transitoirement, et devient délétère à long terme suite à un effet rebond impliquant une augmentation de l'activité et de la pollution. En revanche, la mise en oeuvre d'une politique de décroissance par les pouvoirs publics permet à l'économie de converger vers un état stationnaire caractérisé par un niveau d'utilité supérieur à celui obtenu en l'absence de progrès technique. Enfin, une troisième variante postule la présence d'un progrès technique qui

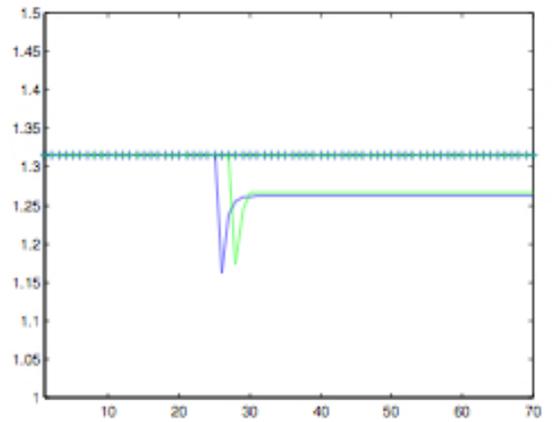
Figure 5: Comparaison des simulations SR, V1, SR3 et V5

SR : +++ bleu ; V1 : — bleu ; SR3 : xxx vert ; V5 : — vert

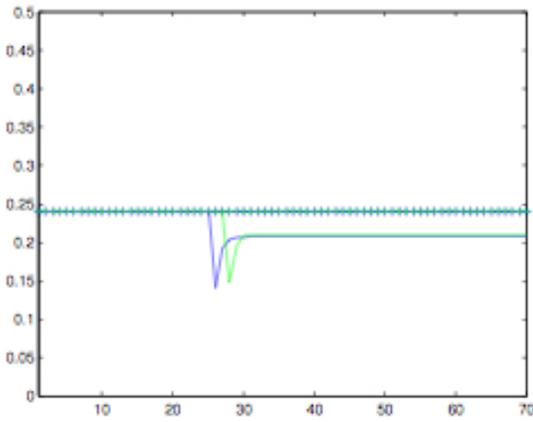
a : production (Y_t)



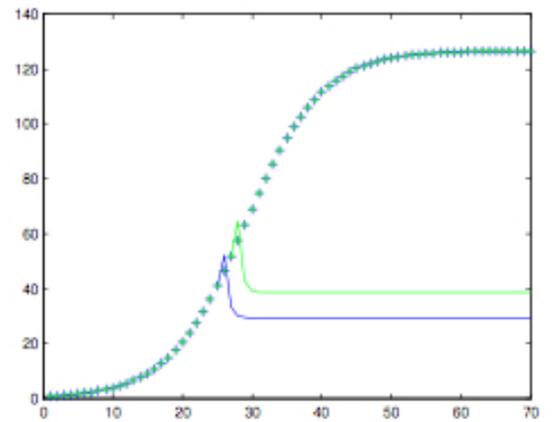
b : Y/C (z_t)



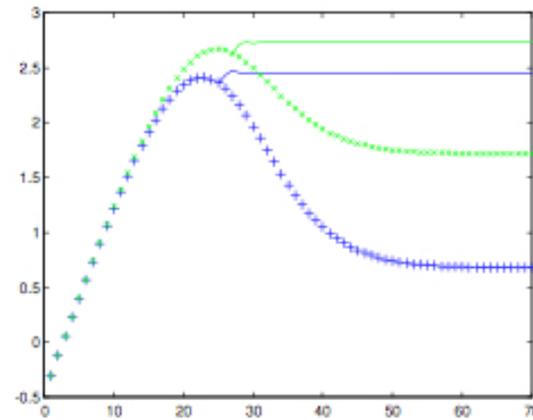
c : taux d'épargne (s_t)



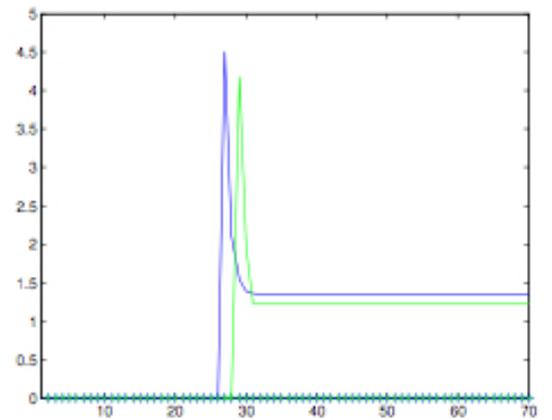
d : consommation (C_t)



e : utilité (U_t)



f : taxation (τ_t)



permet de réduire la pollution à production donnée. En situation de laisser-faire et par rapport à la simulation où ce progrès est absent, il n'y a pas d'effet rebond (production et consommation ne changent pas). Grâce aux améliorations dans le traitement de la pollution, la courbe d'utilité des ménages atteint un maximum plus élevé et plus tardif avant de décliner vers une valeur stationnaire sensiblement supérieure. Dans une économie décentralisée, ce progrès a donc un effet positif tant à court qu'à long terme. Ce qui n'empêche pas qu'une politique de décroissance demeure bénéfique en permettant d'atteindre un niveau d'utilité des ménages supérieur à celui obtenu en situation de laisser-faire. Le gain d'utilité qu'elle permet d'obtenir est cependant sensiblement moindre en présence d'un progrès technique dans le traitement de la pollution que quand celui-ci est absent.

Le présent papier innove par l'étude de politiques de décroissance volontaire plutôt inhabituelles dans la littérature économique et en particulier dans le cadre de la théorie de la croissance. Il repose toutefois sur de nombreuses hypothèses destinées à simplifier l'analyse et plusieurs développements sont donc possibles. On en énumèrera cinq ici. En premier lieu, tant la ressource naturelle que la pollution ont été modélisées comme des flux et la dynamique du modèle pourrait être utilement enrichie en les considérant plutôt comme des stocks. Des phénomènes de décroissance subie de la production, et non plus seulement de l'utilité, seraient alors possibles en économie décentralisée (Germain, 2012). Une deuxième extension serait de faire le lien entre consommation de la ressource naturelle et pollution, en appliquant par exemple le principe de conservation de la matière à travers l'économie. Une progrès technique qui économise la ressource aura alors aussi un effet positif en termes de réduction de la pollution. Une troisième extension serait d'introduire des externalités de consommation à la manière de Bilancini et D'Alessandro (2012), ce qui permettrait de voir si les politiques de décroissance envisagées ici ont toujours un effet positif en termes d'utilité en présence de compétition sociale via la consommation¹⁷. Par ailleurs, que ce soit au niveau de l'usage de la ressource naturelle ou du traitement de la pollution, le progrès technique a été supposé exogène et il serait intéressant de voir dans quelle mesure les résultats obtenus résistent à son endogénéisation. Enfin, les politiques de décroissance volontaire étudiées ici obéissent à un critère d'efficacité à la Ramsey. S'il est apparu qu'elles avaient un impact positif sur le plan de l'éthique intergénérationnelle dans la mesure où elles préservent l'intérêt des générations futures (par rapport au laisser-faire), rien n'a pu être dit sur le plan intragénérationnel vu l'hypothèse d'un ménage représentatif. Or l'Économie de la décroissance insiste sur le fait qu'une politique de décroissance doit être une transition volontaire *et* équitable d'une croissance non durable vers une économie stationnaire et durable. En ce sens, un autre développement possible serait d'envisager des politiques fondées sur des critères éthiques tant en termes intra- qu'intergénérationnels.

Bibliographie

Bilancini E. et S. D'Alessandro (2012). "Long-run welfare under externalities in consumption, leisure, and production: a case for happy degrowth vs. unhappy growth", *Ecological Economics*, 84, 194-205.

Daly H. et J. Cobb (1990). *For the common good: Redirecting the economy toward community, the environment and a sustainable future*, Green Print, Londres.

Germain M. (2012). "Equilibres et effondrement dans le cadre d'un cycle naturel", *Cahiers Économiques de Bruxelles*, 55(4), 427-455.

Heikkinen T. (2015). "(De)growth and welfare in an equilibrium model with heterogeneous consumers", *Ecological Economics*, 116, 330-340.

Kallis G., C. Kerschner et J. Martinez-Alier (2012). "The economics of degrowth", *Ecological Economics*, 84, 172-180.

¹⁷Je suis redevable à G. Thiry pour cette idée d'extension.

Kubiszewski I., R. Costanza, C. Franco, P. Lawn c, J. Talberth, T. Jackson et C. Aylmer (2013). "Beyond GDP: measuring and achieving global genuine progress", *Ecological Economics*, 93, 57-68.

Max-Neef M. (1995). "Economic growth and quality of life: a threshold hypothesis", *Ecological Economics*, 15, 115-118.

O'Neill D. (2012). "Measuring progress in the degrowth transition to a steady state economy", *Ecological Economics*, 84, 221-231.

Schneider F., G. Kallis et J. Martinez-Alier (2010). "Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability", *Journal of Cleaner Production*, 18, 511-518.

Victor P.A (2012). "Growth, degrowth and climate change: a scenario analysis", *Ecological Economics*, 84, 206-212.

Annexes

A. Dynamique de l'économie centralisée

Vu l'objectif (17) et en prenant le logarithme de la contrainte (16), le lagrangien s'écrit :

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \sum_{t=T_i+1}^T \beta_p^t [\ln(Y_t) - \ln(z_t) - \sigma\eta_t Y_t] \dots \\ & + \sum_{t=T_i+1}^{T-1} \lambda_t \left[\ln\left(1 - \frac{1}{z_t}\right) + \ln(Y_{t+1}) - \ln(a\mu_{t+1}Y_{t+1}) + \ln\left(1 - \frac{\mu_{t+1}Y_{t+1}}{R}\right) \right] \end{aligned}$$

où λ_t est le multiplicateur associé à la contrainte au temps t . Pour être acceptable, une trajectoire doit vérifier $Y_t \geq 0$ et $z_t \geq 1$. conditions qu'on ignore provisoirement et qu'on vérifiera à posteriori.

Les conditions du premier ordre pour un maximum intérieur s'écrivent :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial z_t} &= -\beta_p^t \frac{1}{z_t} + \lambda_t \frac{1}{1 - \frac{1}{z_t}} \frac{1}{z_t^2} = 0 \\ \Rightarrow \lambda_t \frac{1}{z_t - 1} &= \beta_p^t \\ \Rightarrow \lambda_t &= \beta_p^t [z_t - 1], \quad t = T_i + 1, \dots, T - 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial z_T} &= -\beta_p^T \frac{1}{z_T} < 0 \\ \Rightarrow z_T &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Y_t} &= \beta_p^t \left[\frac{1}{Y_t} - \sigma\eta_t \right] + \lambda_{t-1} \left[-\frac{1}{Y_t} + \frac{1}{1 - \frac{\mu_t Y_t}{R}} \frac{-\mu_t}{R} \right] + \lambda_t \frac{1}{Y_t} = 0 \\ \Rightarrow \beta_p^t \left[\frac{1}{Y_t} - \sigma\eta_t \right] - \beta_p^{t-1} [z_{t-1} - 1] &\left[\frac{1}{Y_t} + \frac{1}{\frac{R}{\mu_t} - Y_t} \right] + \beta_p^t [z_t - 1] \frac{1}{Y_t} = 0 \\ \Rightarrow \beta_p \left[\frac{1}{Y_t} - \sigma\eta_t + \frac{z_t - 1}{Y_t} \right] &= [z_{t-1} - 1] \frac{\frac{R}{\mu_t} - Y_t + Y_t}{Y_t \left[\frac{R}{\mu_t} - Y_t \right]} \\ \Rightarrow \beta_p \left[\frac{z_t}{Y_t} - \sigma\eta_t \right] Y_t &= [z_{t-1} - 1] \frac{1}{1 - \frac{\mu_t Y_t}{R}} \\ \Rightarrow \beta_p [z_t - \sigma\eta_t Y_t] \left[1 - \frac{\mu_t Y_t}{R} \right] &= z_{t-1} - 1 \end{aligned}$$

En horizon fini, la condition à la date T s'écrit :

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Y_T} &= \beta_p^T \left[\frac{1}{Y_T} - \sigma \eta_t \right] + \lambda_{T-1} \left[-\frac{1}{Y_T} + \frac{1}{1 - \frac{\mu_T Y_T}{R}} \frac{-\mu_T}{R} \right] = 0 \\
&\Rightarrow \beta_p^T \left[\frac{1}{Y_T} - \sigma \eta_t \right] - \beta_p^{T-1} [z_{T-1} - 1] \left[\frac{1}{Y_T} + \frac{1}{\frac{R}{\mu_T} - Y_T} \right] = 0 \\
&\Rightarrow \beta_p \left[\frac{1}{Y_T} - \sigma \eta_t \right] = [z_{T-1} - 1] \frac{\frac{R}{\mu_T} - Y_T + Y_T}{Y_T \left[\frac{R}{\mu_T} - Y_T \right]} \\
&\Rightarrow \beta_p \left[\frac{1}{Y_T} - \sigma \eta_t \right] Y_T = [z_{T-1} - 1] \frac{1}{1 - \frac{\mu_T Y_T}{R}}
\end{aligned}$$

B. Etats stationnaires

B.1 Economie décentralisée

$$(9) \Rightarrow 1 = \beta v_* \Rightarrow$$

$$v_* = \frac{1}{\beta}$$

$$(14) \Rightarrow z_* - 1 = \alpha z_* \Rightarrow$$

$$z_* = \frac{1}{1 - \alpha} \quad (34)$$

$$z_t = \frac{Y_t}{C_t} \text{ et } (4) \Rightarrow Y_t = \frac{Y_t}{z_t} + K_{t+1} \Rightarrow K_* = \left[1 - \frac{1}{z_*} \right] Y_* \text{ à l'ESD. Vu (34),}$$

$$K_* = \alpha Y_*$$

A l'ESD, $\alpha = \beta \gamma [1 - \mu \tau]$ se confond avec le taux d'épargne.

$$(3) \Rightarrow 1 - \frac{X_*}{R_*} = a \frac{X_*}{K_*} = a \frac{\mu Y}{\alpha Y} = \frac{a \mu}{\alpha} \Rightarrow$$

$$E_* = 1 - \frac{a \mu}{\alpha}$$

ce qui implique à son tour :

$$\begin{aligned}
X_* &= E_* R = \left[1 - \frac{a \mu}{\alpha} \right] R \\
Y_* &= \frac{E_* R}{\mu} = \left[1 - \frac{a \mu}{\alpha} \right] \frac{R}{\mu}
\end{aligned}$$

B.2 Economie centralisée

$$(16) \Rightarrow 1 - \frac{1}{z_o} = \frac{a \mu}{1 - \frac{\mu Y_o}{R}} \Rightarrow 1 - \frac{\mu Y_o}{R} = \frac{a \mu}{1 - \frac{1}{z_o}} \Rightarrow$$

$$1 - \frac{\mu Y_o}{R} = \frac{a \mu z_o}{z_o - 1} \quad (35)$$

$$(18) \Rightarrow z_o - 1 = \beta_p [z_o - \sigma \eta Y_o] \left[1 - \frac{\mu Y_o}{R} \right] \Rightarrow \beta_p [z_o - \sigma \eta Y_o] = \frac{z_o - 1}{1 - \frac{\mu Y_o}{R}} = [z_o - 1] \frac{z_o - 1}{a \mu z_o} \Rightarrow z_o - \sigma \eta Y_o = \frac{[z_o - 1]^2}{\beta_p a \mu z_o} \Rightarrow$$

$$z_o - \sigma \eta \left[1 - \frac{a \mu z_o}{z_o - 1} \right] \frac{R}{\mu} = \frac{[z_o - 1]^2}{\beta_p a \mu z_o} \quad (36)$$

Cette dernière équation permet de calculer z_o et partant toutes les autres valeurs caractérisant l'ESC.

On peut plutôt décrire l'ESO via le taux d'épargne. (36) $\Rightarrow \frac{1}{1 - s_o} - \sigma \eta \left[1 - \frac{a \mu}{s_o} \right] \frac{R}{\mu} = \frac{[s_o - 1]^2}{\beta_p a \mu [1 - s_o]} = \frac{s_o^2}{\beta_p a \mu [1 - s_o]} \Rightarrow \sigma \eta \left[1 - \frac{a \mu}{s_o} \right] \frac{R}{\mu} = \frac{1}{1 - s_o} \left[1 - \frac{s_o^2}{\beta_p a \mu} \right]$, et on obtient bien (28).

Institut de Recherches Économiques et Sociales
Université catholique de Louvain

Place Montesquieu, 3
1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

